

# **О РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НА ОСНОВЕ МНОГОСТРУКТУРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ**

**Трофимов В.Б., Кочев П.С.**

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия*

*В данной работе рассматривается актуальная прикладная задача распознавания дефектов поверхности стального проката на примере листового проката в процессе его производства. Для ее решения предложена комбинированная процедура, объединяющая аппарат искусственных нейронных сетей и динамических экспертных систем.*

*Ключевые слова: распознавание образов, экспертная система, контроль качества.*

*In this work we consider the urgent application of defects cognition of rolled iron surface by the example of sheet products in their production process. For the solution of this application we suggest complex procedure which combines the set of artificial neural networks and dynamic expert systems.*

*Keywords: Pattern recognition, expert system, quality control.*

## **Исходные данные и условия задачи**

1. Множество характерных цифровых изображений дефектных и бездефектных участков листа.

2. Библиотека поверхностных дефектов листового проката [1, 2].

3. Описание действующей системы-прототипа – системы контроля качества поверхности полосы «DeFinds» [3, 4]. Основные функции системы-прототипа: визуальный контроль состояния поверхности движущейся стальной полосы; распознавание дефектов определенных типов в поле слежения в каждый момент времени; оповещение контролера в случае выявления «подозрительного» участка; автоматическое обнаружение и классификация дефектов. Недостатки системы-прототипа: дефект, расположенный на пограничных областях сегментов, может быть обработан и распознан неверно. Это связано с тем, что эффективность работы любой видеокамеры повышается при центральной фокусировке и снижается, приближаясь к краям кадра; алгоритм распознавания [4] является громоздким, требует большого объема памяти и имеет низкую точность локализации места дефекта на изображении; число кластеров для алгоритма k-средних должно быть заранее известно и четко определено. При увеличении числа кластеров алгоритм начинает давать сбои, распознавая в качестве дефектных области, содержащие фон; при распознавании не учитываются морфологические и генетические признаки дефектов.

4. Описание систем-аналогов (системы со стационарно смонтированными видеокамерами – компания Thyssen Krupp Stahl AG, системы инспекции качества полосы проката – компания «ДАТА-ЦЕНТР» [5]).

5. Государственные стандарты цветной и черной металлургии (ГОСТ 21631-76, ГОСТ 21014-88).

6. Методы и алгоритмы выделения информативных признаков и классификации (Я.З. Цыпкина, Ю.И. Журавлева, В.А. Сойфера, А.Л. Горелика, Дж.Ф. Люггера, К. Фу, Р. Дуда, П. Харта).

7. Аппарат искусственных нейронных сетей: многослойный персептрон и алгоритм обратного распространения ошибки.

8. Аппарат экспертных систем: методика построения продукционной модели представления знаний IF (условие) – THEN (действие).

9. Среда разработки программных продуктов Borland Delphi 7.

10. Типовые факторы, искажающие изображение поверхности листа (сдвиг, поворот, масляные пятна, плавное или произвольное изменение яркости/цвета/контраста).

11. Интегральный критерий качества распознавания, разработанный в следующем виде:

$$Q = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3 + \alpha_4 Q_4 + \alpha_5 Q_5 + \alpha_6 Q_6 + \alpha_7 \rightarrow \min,$$

где  $\alpha_1 \div \alpha_7$  – весовые коэффициенты, формируемые экспертами,  $Q_1$  – ошибка регистрации,  $Q_2$  – ошибка захвата данных,  $Q_3$  – ошибка ложного несоответствия,  $Q_4$  – ошибка ложного соответствия,  $Q_5 = (Q_2 + Q_3(1 - Q_2))$  – ошибка ложного отказа,  $Q_6 = Q_4(1 - Q_2)$  – ошибка ложного пропуска,  $Q_7$  – отношение неправильно распознанных дефектов к их общему числу.

12. Ограничения: диагностические решения должны приниматься с упреждением на время, достаточное для нанесения отметок на дефектные участки листа; скорость движения листа по рольгангу в зоне контроля не должна превышать 3 м/с.

*Требуется* разработать алгоритмическое, программное и техническое обеспечение интеллектуальной системы контроля качества поверхности листового проката, учитывающее заданные ограничения и обеспечивающее минимум интегрального критерия.

#### Методика решения задачи

Предлагаемый алгоритм распознавания поверхностных дефектов литейного проката в потоке производства включает следующие основные операции.

1. Сканирование поверхности листа с помощью семи видеокамер и двух блоков подсветки (рис. 1).

2. Разбиение каждого видеосигнала на последовательность непересекающихся видеок кадров.

3. Представление  $i$ -го цифрового изображения в цветовой модели RGB.

4. Преобразование полученного цветного изображения в изображение с нулевым контрастом (изображение в градации серого) выполняется по формуле

$$S_{n,m}(i) = \text{Round} [0,30 R_{n,m}(i) + 0,59 G_{n,m}(i) + 0,11 B_{n,m}(i)],$$

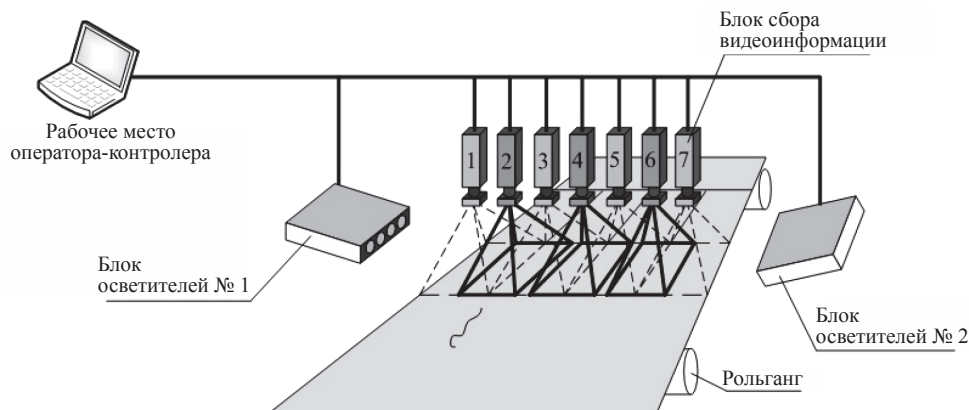


Рис. 1. Схема предложенной интеллектуальной системы контроля качества поверхности листового проката

где  $R_{n,m}(i)$ ,  $G_{n,m}(i)$ ,  $B_{n,m}(i)$  – красный, зеленый, синий компоненты цветовой модели RGB;  $n, m$  – номер строки, столбца изображения;  $i$  – номер изображения (видеокадра).

5 – Нормирование (индекс «Н») изображения осуществляется по формуле  $S_{n,m}^H(i) = (S_{n,m}(i) - S^{\min}) / (S^{\max} - S^{\min})$ , где  $S^{\max} = 255$ ,  $S^{\min} = 0$ .

6 – Адаптивная бинаризация (индекс «Б») изображения («1» – черный цвет пикселя, «0» – белый) осуществляется по следующему правилу: если  $S_{n,m}^H(i) \leq \delta(i)$ , то  $S_{n,m}^B(i) = 1$ , в противном случае  $S_{n,m}^B(i) = 0$ , где  $\delta(i)$  – пороговый уровень.

7 – Элиминирование факторов, искажающих изображение фрагментов листа, осуществляется следующим образом: если в заданной окрестности пикселя, у которого  $S_{n,m}^B(i) = 1$ , все другие пиксели имеют значение, равное нулю, то  $S_{n,m}^B(i)$  этого пикселя принимается равным нулю. Размер окрестности очистки устанавливает квадрат с центром в пикселе, у которого цвет черный («черный пиксель»). Размер, равный единице, соответствует квадрату  $3 \times 3$  пикселей с центром в «черном пикселе», размер, равный двум, – квадрату  $5 \times 5$  и т.д.

8 – Оценивание интегрального признака (путем суммирования бинарных кодов цвета черных пикселей по строкам и столбцам) и признака «топология границы».

9 – Сшивка соседних кадров, имеющих дефект, расположенный на их границе.

10 – Проверка условия присутствия дефекта на поверхности листа. Если условие выполняется, то делается переход к операции 11, в противном случае – к условию 19.

11 – Оценивание принадлежности дефекта к одному из классов, путем подачи на входы искусственной нейронной сети (многослойного персептрона, в промежуточных и выходном слоях которого использованы нейроны сигмоидального типа с униполярной функцией активации) выделенного

интегрального признака и признака «топология границы». Если сеть не смогла однозначно установить тип дефекта, то его изображение последовательно поворачивается на разные углы. Для каждого полученного изображения вычисляется информативный признак, после чего он подается на входы сети.

12 – Проверка условия «Все ли варианты кадров рассмотрены?». Если условие выполняется, то переход к операции 13, в противном случае – возврат к операции 3.

13 – Отнесение отдельного изображения к одному из типов дефекта с учетом дополнительной информации.

14 – Проверка условия «Тип дефекта установлен с заданной точностью?». Если условие выполняется, то переход к операции 18, в противном случае – переход к операции 15.

15 – Визуальный осмотр оператором-контролером дефектного участка натурального листа и его цифрового бинаризованного изображения.

16 – Запуск экспертной системы распознавания дефектов.

17 – Проверка условий «Тип дефекта установлен с заданной точностью?», «Количество повторений больше максимально возможного?». Если хотя бы одно условие выполняется, то переход к операции 18, в противном случае – возврат к операции 15.

18 – Расчет координат и параметров дефекта.

19 – Проверка условия «Все ли поверхности данного листа обработаны?». Если условие выполняется, то переход к условию 20, в противном случае – возврат к операции 3.

20 – Проверка условия «Обработаны все изображения листа?». Если условие выполняется, то переход к операции 21, в противном случае – возврат к операции 3.

21 – Регистрация координат и параметров дефектов листа.

Дополнительно введенные видеокамеры (№ 2, № 4, № 6) обеспечивают перекрытие пограничных зон сегментов (см. рис. 1), за счет этого достигается более полный контроль поверхности листа, следовательно, повышается точность распознавания дефектов и снижается вероятность неправильного захвата данных.

Программная реализация интеллектуальной системы контроля качества выполнена в среде Borland Delphi 7 и представлена на рис. 2.

Интеллектуальная система контроля качества поверхности листового проката устраняет выявленные недостатки системы-прототипа, является помехозащищенной и использует алгоритм, не требующий больших объемов памяти, обеспечивающий более высокую точность распознавания поверхностных дефектов, учитывающий морфологические и генетические признаки дефектов.

Разработанная интеллектуальная система контроля качества поверхности листового проката обеспечивает достижение максимума правильно опознанных дефектов в автоматическом режиме – 90÷97 %, снижение брака на 20÷30 %, уменьшение числа рекламаций, обучение операторов-контролеров, рост прибыли за счет более высоких цен на качественный листовой прокат.

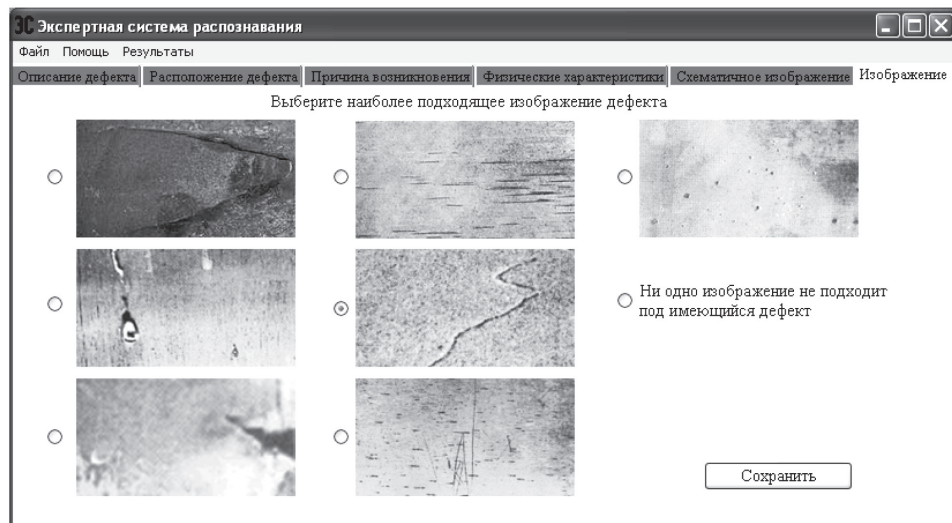


Рис. 2. Среда исполнения интеллектуальной системы контроля качества поверхности листового проката (экранная форма монитора рабочего места оператора-контролера)

Разработано алгоритмическое, программное и техническое обеспечение интеллектуальной системы контроля качества поверхности листового проката, выполняющей функции автоматического распознавания типовых дефектов с помощью искусственных нейронных сетей, автоматизированного распознавания редко встречающихся дефектов с помощью экспертной системы, оценивания параметров и пространственных координат дефектов, а также выявления причин их возникновения с помощью интеллектуального анализа данных.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-4068.2015.8.*

#### Список использованных источников

1. Правосудович В.В. Дефекты стальных слитков и проката: Справ. изд. / В.В. Правосудович, В.П. Сокуренок, В.Н. Данченко и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 384 с.
2. Ежов А.А. Дефекты в металлах. Справочник-атлас. / А.А. Ежов, Л.П. Герасимова – М.: Русский университет, 2002. – 360 с.
3. «DeFinds» – система контроля качества поверхности листовых материалов – метод доступа [<http://www.mallenom.ru/definds.php>, 2000–2010] – заглавие с экрана.
4. Ульянов А.Н. Алгоритм обнаружения дефектов листового металлопроката в оптико-электронных системах с использованием матриц яркостной зависимости и метода  $k$ -средних / А.Н. Ульянов, С.Н. Еремин, В.А. Шабалов // Образование, наука, бизнес: особенности регионального развития и интеграции: Труды II межвузовской научно-методической конференции. – Череповец: ИМИТ СПбГПУ, 2003. – С. 218–221.
5. Кулаков С.М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: монография / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.